Aus dem physiologischen Institut zu Rostock.

Ueber den

Einfluss der Temperatur

auf die

Thätigkeit des Säugethierherzens.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der Hohen medicinischen Facultät

der Universität Rostock

vorgelegt

von

Czeslaw Nawrocki,

approb. Arzt

aus

Nieczajna.

Rostock.

Carl Hinstorffs Buchdruckerei.

1896.

ACAD.
LUGD.BAT.
BIBL.

Ueber den

Einfluss der Temperatur

auf die

Thätigkeit des Säugethierherzens.

I. Geschichtliche Uebersicht.

Die Frage, welchen Einfluss die Temperatur auf die Herzthätigkeit ausübe, beschäftigte seit längerer Zeit die Physiologen; es ist eine grosse Reihe von Versuchen ausgeführt worden, um allgemeine Gesetze bezüglich des Verhaltens des Herzens bei Wärme und Kälte aufstellen zu können, und wir wissen aus ihnen, dass das Herz ein höchst empfindliches Reagens auf hohe und niedere Temperaturen darstellt.

Die ersten diesbezüglichen Beobachtungen rühren von Budge (1) her, der am ausgeschnittenen Froschherzen, welches er in warmes Wasser legte, eine Zunahme der Schlagzahl beobachtete.

Aehnliche Beobachtungen machten die Gebrüder Weber (2) ausser am Froschherzen am Herzen des Hühnerembryos.

Die weiteren Versuche bis auf die in den letzten Jahren betreffen ebenfalls das Froschherz.

So theilt Calliburces (3) mit, dass die Erhöhung der Temperatur ein rascheres Schlagen des Herzens veranlasst und zwar sowohl innerhalb des Thieres als auch des ausgeschnittenen Herzens.

Schelske (4) kommt zu dem Resultate, dass Temperaturen unter 0° und solche zwischen 36° und 40° C. die automatischen Bewegungen des Herzens in einen Scheintod versetzen, aus welchem sie durch Zurückführen in die Normaltemperatur erweckt werden können.

Weiter gehende Resultate erzielte Cyon (5), indem er den Einfluss der Temperatur auf ein mit Serum gefülltes Froschherz mit Hülfe eines Froschherzmanometers untersuchte, welches ihm die Arbeit des Herzens direct zu messen erlaubte.

Er fand, dass es nach oben wie nach unten Temperaturgrenzen giebt, bei welchen das Herz zu schlagen aufhört. Genauere Grenzzahlen lassen sich nicht angeben. Einige Herzen hören auf zu schlagen bei 0°, andere bei — 4° C., die obere Grenze variirt zwischen 30° und 40° C. Durchläuft das Herz das Temperaturintervall, welches zwischen den Grenzen der Ruhe liegt, so geht die Schlagzahl durch ein Maximum durch. Ist die Schlagzahl auf dem letzteren angelangt, so sinkt sie bei weiterem Steigen der Temperatur anfangs allmälig, später sehr rasch, so dass das Herz, wenn es nur um wenige Grad weiter erwärmt wird, schon vollkommen still steht. Das Maximum der Schlagzahlen fällt nicht immer auf dieselbe Temperatur. Was die

Excursion der Herzschläge anbetrifft, so zeigt diese, wenn man über die Abscisse der Temperaturen die Curve der Pulshöhe beschreibt, ein Maximum und zwei Minima. Die letzteren liegen bei der oberen und unteren Grenztemperatur. Von der unteren Grenztemperatur steigt die Curve rasch aufwärts, so dass sie schon wenige Grade über 0° das Maximum erreicht; dann hält sie sich auf dieser Höhe nahezu gleichmässig bis gegen 15° oder 19° C. Von 20° weiter aufwärts sinkt sie dann ununterbrochen bis zum Nullpunkt der höheren Temperatur auf die Abscisse herunter. Den maximalen Nutzeffect, wobei das Herz durch seine grösste Leistungsfähigkeit dem Blutstrom die grössten Dienste zu leisten vermag, beobachtete Cyon zwischen 18° C. und 26° C.

Zu anderen Resultaten bezüglich der Pulshöhe gelangte Luciani (6) in seiner 1873 ausgeführten Arbeit, und ähnlich wie seine lauteten die Angaben von Kronecker (7), während derselbe Autor (8) (gemeinschaftlich mit Mc'Guire) später in Uebereinstimmung mit den Angaben von Cyon die Pulse des abgekühlten Herzens höher fand als die des erwärmten.

Lépine und Tridon (9) beobachteten Frequenz- und Höhen-Zunahme bei hohen Temperaturen am Schildkrötenherzen.

Gaule (10) fand, dass das Herz eines in der Kälte aufbewahrten Frosches weniger leistungsfähig ist, als das eines Frosches, welcher im Warmen gehalten war; das Herz des ersteren jedoch konnte, wenn man ihm den Extract des Herzens von einem im Warmen ge-

haltenen Frosche zuführte, ebenso leistungsfähig gemacht werden, wie das letztere.

Bis in die letzte Zeit waren diese Beobachtungen die einzigen, welche über den Einfluss der Temperatur auf die Thätigkeit des Herzens Aufschluss gaben. Alle bezogen sich auf das Kaltblüterherz. Für das Herz des Warmblüters, insbesondere für das Säugethierherz, welches sowohl seinem anatomischen wie physiologischen Charakter nach sich wesentlich vom Froschherzen unterscheidet, konnten diese Beobachtungen nicht ohne Weiteres verwerthet werden.

Angaben über Resultate, welche man bei Versuchen an Warmblüterherzen erhalten hatte, sind sehr spärlich.

Schenk, Wernicke und Cleland sahen, dass das Herz von Hühnerembryonen unter dem Einfluss der Wärme sich häufiger zusammenziehe, als bei kalter Temperatur.

Bernard beobachtete einen langsameren Puls bei künstlich abgekühlten Thieren und bei Winterschläfern. Brunton sah das Herz eines Kaninchens, welches erwärmt war, schneller schlagen, und ähnliche Angaben kehren bei anderen Autoren wieder.

Aber alle diese Beobachtungen sind, wie Martin, dem ich diese Litteraturangaben entnehme, in einer Arbeit (15), auf deren Inhalt ich später zu sprechen komme, beweist, in Bezug auf die Frage, welchen Einfluss die Temperatur auf das Herz selbst ausübe, unzuverlässig. Die ersteren nämlich betreffen kein ausgewachsenes, schon mit Centren ausgestattetes Herz,

sondern schildern nur den Einfluss der Wärme auf eine noch nicht differenzirte contractile Protoplasmamasse. Die beiden anderen Versuche müssen insofern als unzulänglich bezeichnet werden, weil bei ihnen das ganze Thier erwärmt oder abgekühlt wurde; es lässt sich hier aber gar nicht feststellen, ob nicht die unter dem Einflusse der angewandten Temperatur stehenden Nervencentra eine derartige Thätigkeit des Herzens veranlassten, oder ob nicht das veränderte Blut oder andere Momente die Ursache dieser Erscheinungen gewesen.

Versuche, ein isolirtes, also vom Einflusse der Nervencentra frei gemachtes Herz längere Zeit durch künstliche Speisung am Leben zu erhalten, wurden zuerst von Ludwig und Schmidt (11) angestellt, scheiterten jedoch an der geringen Widerstandsfähigkeit des isolirten Säugethierherzens und an der Unzulänglichkeit der zur Ernährung des Herzens benützten Methode.

Erst im Jahre 1881 erschien eine Arbeit (12), welche ein Verfahren schilderte, vermöge dessen das vom Einflusse der Nervencentra frei gemachte Säugethierherz durch mehrere Stunden lebensfähig erhalten werden konnte. Diese Arbeit rührte von H. Newell-Martin her. Zwei Jahre später publicirte er in den „Philosophical Transactions of the Royal Society of London“ eine ausführliche Beschreibung der von ihm erfundenen und seither verbesserten Methode zugleich mit Resultaten, die er bei Wärme- und Kälte-Versuchen am isolirten Hundeherzen erhalten hatte (13). Obwohl er diese Methode später vollständig umgeändert

und bei seinen weiteren in den späteren Jahren angestellten Versuchen einen anderen Weg eingeschlagen hat, so dürfte es doch angebracht erscheinen, auf seine Arbeit näher einzugehen, zumal er trotz der verschiedenen Nachtheile, welche seine Methode aufzuweisen hatte, doch zu interessanten und wichtigen Beobachtungen gekommen war.

Martin ging von folgendem Princip aus: Herz und Lunge bewahren ihre Lebensfähigkeit, getrennt von den übrigen Organen, wenn ihnen das zur Ernährung nöthige Blut zugeführt wird. Er schaltete bei seinen Versuchen aus dem Circulationssystem alle Gefässe aus, welche den anderen Organen Blut zuführen und liess nur die Gefässe, welche Herz und Lunge speisen, intact. Dadurch, dass die aus der Blutcirculation ausgeschalteten Organe abstarben, wurde der Einfluss derselben, insbesondere der äusseren Nervencentren, auf die Herzthätigkeit ausgeschlossen. Die ersten Versuche machte er am isolirten Hundeherzen und verwandte als Ernährungsflüssigkeit defibrinirtes Kalbsblut. Er verfuhr folgendermassen:

Nachdem das Thier durch Chloroform, Aether oder Morphium narcotisirt war, wurde an ihm behufs künstlicher Athmung die Tracheotomie ausgeführt. Hierauf wurden auf beiden Seiten die Vago-Sympathicus-Stämme durchschnitten, um das Herz vor dem Einflusse der herzhemmenden Fasern in der Medulla oblongata zu bewahren. In das Herzende einer jeden Carotis communis wurde eine Canüle gebracht und die Arterien unterhalb derselben durch eine

Klemme geschlossen. Darauf wurden die Artt. mammariae und die rechte Art. subclavia unterbunden. Die linke subclavia und die V. cava superior wurde mit einer Ligatur versehen. In der Aorta thoracica wurde unterhalb des Bogens eine Canüle befestigt. Auf diese Weise waren alle Arterien, mit Ausnahme der Coronar-Arterien, abgesperrt. Die V. cava inferior wurde über dem Diaphragma und die V. azygos nahe ihrer Vereinigung mit der V. cava superior unterbunden. Um das Blut aus dem Herzen und den Lungen auszuwaschen, wurde die V. cava superior durch eine Canüle mit einer Mariotte'schen Flasche verbunden; das in der letzteren befindliche defibrinirte Blut floss durch die Canüle in den rechten Vorhof und nachdem es Herz und Lungen passirt hatte durch die Carotis- und Aorta-Canülen, deren Klemmen für einige Augenblicke geöffnet waren, heraus. Sowie die beiden Organe mit defibrinirtem Blut gefüllt waren, wurden die Klemmen geschlossen und das Thier in eine feuchte Kammer gebracht, wo es während des ganzen Versuchs verblieb. In dieser Kammer wurde das Herz beständig mit defibrinirtem Blut ernährt, welches durch die V. cava superior unter einem controllirbaren Druck zugeführt und vom Herzen gegen einen leicht variirbaren Aorten-Widerstand ausgepumpt wurde. Die feuchte Kammer ist ein mit Glaswänden versehener Kasten gewesen, dessen eine Breitseite aus Holz bestand und Oeffnungen für den Durchtritt mehrerer Röhren hatte. Sie besass keinen Boden und stand während des Versuchs auf einem Trog, welcher durch Bunsen'sche Brenner er-

wärmt wurde; dadurch wurde die Luft im Kasten feucht und warm gehalten. Als Blutrecipienten dienten zwei Mariotte'sche Flaschen, welche in der feuchten Kammer sich befanden und von Gefässen umgeben waren, die, je nachdem es nöthig war, mit warmem oder kaltem Wasser gefüllt wurden. Durch den luftdichten Kork einer jeden Flasche gingen 4 mit Klemmen versehene Röhren. Je zwei davon wurden benutzt, wenn Blut dem Recipienten aus dem Fülltrichter zugeführt werden sollte; die anderen zwei kamen zur Anwendung, wenn Blut aus dem Recipienten dem Herzen zufliessen sollte. War das erste Paar geöffnet, so wurde das andere geschlossen und umgekehrt. Von dem ersten Paare führte die eine Röhre zum Fülltrichter und diente als Zuleitungsrohr für die Blutflüssigkeit nach dem Blutrecipienten; die andere ermöglichte den Luftzutritt bei der Füllung desselben. Von dem anderen Paare war die eine Röhre durch einen Schlauch mit einer ⊤ Röhre in Verbindung, welche mit der V. cava superior durch einen Schlauch verbunden war und den Zufluss des Blutes nach dem Herzen zu vermittelte, während die andere in derselben Zeit Luft dem Recipienten zukommen liess. Durch den in Folge dessen hervorgebrachten Druck der äusseren Luft auf das Blut in dem Recipienten wurde dem Blute das Austreten in den Schlauch ermöglicht. Die Flaschen wurden abwechselnd gebraucht; während die eine dem Herzen Blut zuströmen liess, empfing die andere das verbrauchte und durch das Herz ausgepumpte Blut, um nach Entleerung der ersten Flasche an ihre

Stelle als nährende zu treten. Zu Anfang eines jeden Versuchs war die zur Ernährung des Herzens bestimmte Flasche zu $^4/_5$ gefüllt, während die andere zum Empfangen des Blutes bestimmte, nur zu $^1/_4$ gefüllt, bereit stand, aus dem Fülltrichter Blut zu empfangen. Das Herz erhielt das defibrinirte Blut aus dem Ernährungsrecipienten durch den von demselben führenden Schlauch, in dessen Ende die oben erwähnte ⊤Röhre eingefügt war. In dem vertikalen Gliede der letzteren befand sich ein Thermometer. Jenseits der ⊤Röhre war ein Hahn angebracht, welcher in einen Schlauch endete. In diesen wurde die Canüle der V. cava superior hineingefügt, nachdem die von der Mariotte'schen Flasche kommende Canüle aus ihm herausgenommen war. War der Hahn geöffnet, so floss das Blut aus dem Recipienten durch die Canüle in das rechte Herz, von hier in die Lungen und wurde zuletzt aus dem linken Ventrikel durch die Aorta-Canüle ausgepumpt. Diese Aorta-Canüle war an ihrem distalen Ende durch eine metallene Röhre mit einem Schlauch in Verbindung gebracht, welcher das herausgepumpte Blut in einen Trichter leitete. Von diesem kam das Blut durch einen mit einem Hahn versehenen Schlauch zu der das Blut empfangenden Flasche. War das Thier in die feuchte Kammer gebracht worden, so wurde, nachdem die V. cava superior mit der ⊤Röhre in Verbindung gebracht war, die Tracheal-Canüle mit einem Respirationsapparat verbunden. Hierauf wurde in die linke Art. subclavia ein Thermometer gebracht und durch die vorher geschlungene Ligatur befestigt. Das

Gefäss des Thermometers ragte in den Aortenbogen hinab. Von den Carotiden wurden die beiden Klemmen abgenommen und die Canülen derselben mit 2 Röhren in Verbindung gebracht, welche durch die Holzwand die Kammer verliessen. Mit einer der Röhren war ein Fick'scher Wellenschreiber verbunden, welcher zum Anzeigen der Pulszahl diente; die andere enthielt ein Quecksilbermanometer nach Marey, welches den mittleren Druck in der Carotis angab. Die Federn der beiden Manometer schrieben übereinander auf dem Papier eines Ludwig'schen Kymographion. Unter ihnen schrieb eine chronographische Feder. Die Temperatur der Luft in der feuchten Kammer wurde auf 38° C. gebracht.

Mit dem Versuche wurde ungefähr 20 Minuten nach dem Unterbinden der Gefässe angefangen. Der Venendruck wurde durch Heben und Senken der Mariotte'schen Flaschen regulirt. Er entsprach bei den meisten Versuchen einer Säule defibrinirten Blutes von 15 cm Höhe. Der mittlere Aortadruck betrug ungefähr 100 mm Quecksilber. Die Temperatur des Blutes wurde an dem Thermometer abgelesen, welches in der Subclavia befestigt war. Die Pulsschläge wurden innerhalb Perioden von 20 Secunden gezählt und auf eine Minute berechnet.

Die von Martin angestellten Versuche ergaben die völlige Tauglichkeit des Verfahrens. Das Herz konnte lange Zeit hindurch schlagend erhalten werden, wenn sich auch gegen Ende des Versuchs ein allmäliges Schwächerwerden bemerklich machte. Was die Temperatureinflüsse anbelangt, so schlug das Herz schneller,

wenn ihm wärmeres Blut zugeführt wurde und langsamer, wenn es kaltes Blut empfing. Martin machte dabei die Beobachtung, dass die Zahl der Herzschläge nicht von der Temperatur des Blutes, das in den Herzhöhlen sich befindet, beeinflusst wird, sondern vielmehr von der Temperatur des Blutes, welches in den Capillaren des Herzens fliesst; denn massgebend für den Erfolg war nicht die im Innern des Herzens gemessene Temperatur, sondern die Temperatur, die das in der Subclavia befindliche Thermometer anzeigte.

Martin war es nicht entgangen, dass für Untersuchungen des Temperatureinflusses auf das Herz seine Methode gewisse Nachtheile darbot. Vor allem wurden genauere Versuche dadurch unmöglich gemacht, dass bei schwächerer Herzthätigkeit der von ihr abhängige Coronarblutlauf zu schwach und langsam wurde und sich keineswegs diejenige Temperatur in ihm erhielt, welche in dem in das rechte Herz einströmenden Blute gemessen worden war. Ein wesentlicher Nachtheil seiner Methode besteht nach Martins eigener Aussage weiter darin, dass innerhalb $1^1/_2$ Stunde sich regelmässig ein Lungenödem einstellte, das die Circulation und Lüftung des Blutes in den Lungen erschwerte. Eine andere Störung, welche durch das Kalbsblut erzeugt wird, war das Auftreten von pericardialen Exsudaten, welches wesentlich dem Herzschlage Eintrag that. Daneben vermehrte sich die Grösse des Herzens in der Systole bemerkbar, was Martin auf eine Veränderung der Elasticität des Herzmuskels zurückführt.

Diese Nachtheile seiner Methode bestimmten

Martin später einen Weg einzuschlagen, auf den seine bisherigen Versuche hinwiesen, nämlich den einer mehr directen Speisung der Kranzgefässe.

Seine umgeänderte Methode, sowie die Ergebnisse seiner letzten Versuche hatte er 1890 in den „Studies from the Biological Laboratory of the John Hopkins University“ publicirt (14). Zur allgemeineren Kenntniss gelangte aber die Arbeit erst, als sie zusammen mit anderen physiologischen Arbeiten von seinen Schülern und Freunden in den „Physiological Papers“ by H. Newell-Martin (15) veröffentlicht wurde.

Bei diesen Versuchen, die Martin an Katzen ausführte, verfuhr er folgendermassen:

Nach Betäubung des Versuchsthieres durch Inhalation von Aether oder subcutanen Injection von Paraldehyd oder nach Anwendung von Curare wurde behufs künstlicher Athmung die Tracheotomie ausgeführt. Nach Eröffnung des Thorax und Unterbindung der meisten Gefässe, mit Ausnahme der Lungengefässe, wurde in das distale Ende des Aortenstumpfs eine Glascanüle eingebunden. Dieselbe besass 3 Seitenstücke. Durch das eine Seitenstück floss defibrinirtes Blut aus einer Mariotte'schen Flasche zum Herzen. Durch das zweite in der Nähe des ersten befindliche Seitenstück gelangte ein grosser Theil des zufliessenden Blutes in einen Schlauch und durch denselben in einen Trichter. Die Höhe des letzteren über dem Herzen bestimmte die Stärke des in dem Aortastumpf herrschenden Blutdruckes. In dem dritten Seitenstücke be-

fand sich ein Thermometer. Da alle Zweige der Aorta mit Ausnahme der Coronargefässe unterbunden waren, so floss das Blut, welches aus der Mariotte'schen Flasche in die Aorta-Canüle kam, entweder durch das zweite Seitenstück derselben zum Trichter oder durch das weitere Ende der Aorta-Canüle in das Coronarsystem. Das Blut, welches zu den Coronararterien gelangte, durchlief dieselben, kam dann in den rechten Vorhof, von hier in den Ventrikel und durch die Lungenarterie in die Lungen, von wo es in den linken Vorhof zurückfloss. Dadurch, dass ein grosser Theil des Blutes durch das zweite Seitenstück der Aorta-Canüle abfliessen konnte, wurde dem Mangel einer genügenden Oxydation des Blutes abgeholfen. Das Blut in der Aorta-Canüle sollte dadurch schneller gewechselt werden. Das durch das zweite Seitenstück abfliessende Blut gelangte durch einen Schlauch in den Trichter und von hier aus in einen Becher, welcher alle 2 Minuten entleert wurde. Das Blut wurde dann in eine zweite Mariotte'sche Flasche hineingegossen, welche bis zu dem Augenblicke, wo die ernährende Flasche leer wurde, die Rolle der empfangenden Flasche zu verrichten hatte. Die Flaschen befanden sich ausserhalb der feuchten Kammer, in welcher der ganze Versuch ausgeführt wurde. Sie standen in einem Trog, welcher entweder mit kaltem oder warmem Wasser gefüllt wurde. Da die Temperatur im Herzen, wie es sich bei den früheren Versuchen gezeigt hatte, von der Temperatur des zufliessenden Blutes verschieden war, so wurde durch den rechten Vorhof in der rechten Ventrikel ein Thermometer hinein-

gethan, welches die Temperatur des Herzens angab. Die Herzcontractionen wurden am Herzen selbst gezählt und notirt. Bei allen Versuchen wurde $1^1/_2$ Stunde nach der Operation gewartet, um das Herz von allen Einflüssen der hemmenden und beschleunigenden Nerven zu isoliren.

Martin machte mit Hülfe dieses Versuchsverfahrens, wie bereits erwähnt, sowohl Abkühlungs- als auch Erwärmungs-Versuche. Was die ersten anbetrifft, so kam er zu folgenden Resultaten:

Das isolirte Herz der Katze stirbt in der Regel bei einer Temperatur von 17 bis 18° C. ab. Doch kann es zuweilen eine Abkühlung bis auf 16,5° C. vertragen, ohne unfähig zu werden, durch Wiedererwärmung zur Thätigkeit zurückzukehren. Durch das Abkühlen wird die beim isolirten Herzen im Verlaufe des Versuchs auftretende Schwäche des Pulses erhöht; ein abgekühltes Herz schlägt viel schwächer und stirbt auch viel früher ab, während ein Herz, das dem Einflusse der Kälte nicht ausgesetzt war, vier bis fünf Stunden schlagen kann. Die Erwärmungsversuche ergaben folgende Resultate:

Es giebt beim isolirten Katzenherzen eine Optimumtemperatur, bei welcher das Herz am schnellsten schlägt und über welche hinaus der Pulsschlag langsamer wird. Diese Optimum-Temperatur liegt zwischen 43,3 und 40,6° C., also im Durchschnitt bei 41,5° C.

Die Todestemperatur des Herzens liegt, wenn es langsam und stetig bis zur höchsten Temperatur erwärmt wird, zwischen 44,5 und 45° C. Man kann

jedoch die Optimum- und Maximum-Temperatur steigern, wenn man das Herz in dem Augenblicke, wo es Zeichen von Schwäche zeigt, auf kurze Zeit abkühlt und dann wieder erhitzt.

Wie man sieht, hatte sich Martin auch bei seiner modificirten Versuchsanordnung noch nicht entschliessen können, das Herz vollständig zu isoliren und seine Ernährung von der mehr oder minder schwankenden Energie des Herzschlages ganz unabhängig zu machen; auch den Zusammenhang mit dem Lungenkreislauf hatte er nicht aufzugeben gewagt.

Eine weit vollkommenere Isolation des Säugethierherzens als er und eine constantere Speisung des Conorarsystems erzielte dagegen Prof. Langendorff bei seiner im Jahre 1895 publicirten Methode (16), die in vielen Beziehungen an die letzte von Martin angewandte erinnert, doch aber wesentlich weiter geht. Es sei hier übrigens bemerkt, dass, als die betreffende Arbeit publicirt wurde, Langendorff die neueste der Martin'schen Arbeiten noch nicht bekannt war, und dass in Folge dessen auf sie keine Rücksicht genommen werden konnte. Als Hauptunterschied beider Methoden ist besonders zu betonen, dass Langendorff, wie erwähnt, das Säugethierherz vollständig isolirt, während Martin dies nur zum Theil thut, indem er das Herz im Thiere und die Lungen im Zusammenhange mit dem Herzen lässt. Weitere wesentliche Unterschiede werden sich aus der späteren Beschreibung der Methode ergeben. Die nähere Schilderung derselben unterlasse ich vorläufig, da ich eine solche meinen

eigenen Versuchen, die ich auf Anregung von Professor Langendorff und unter seiner Leitung im physiologischen Institut zu Rostock angestellt habe, vorauszuschicken beabsichtige. Ich betone hier nur das Princip, von welchem sie ausging.

Langendorff zeigte, dass das ausgeschnittene Säugethierherz mehrere Stunden hindurch lebensfähig und bei energischer Thätigkeit erhalten werden kann, wenn man die blutspendende Canüle in die aufsteigende Aorta vor dem Ursprung der Kopfarterien nach dem Herzen zu gerichtet einbindet und einen solchen Injectionsdruck wählt, dass die Semilunarklappen der Aorta sich völlig schliessen und auch bei kräftigster Thätigkeit der linken Kammer geschlossen bleiben. Das eingespritzte Blut kann dann nirgends anders als in die Coronargefässe gelangen. Ist der ganze Herzmuskel durchströmt, so gelangt das Blut durch die Kranzvenen in den rechten Vorhof und fliesst, da dieser beim Ausschneiden des Herzens an der Einmündungsstelle der Hohlvene weit eröffnet ist, ohne in die rechte Kammer einzutreten, ab.

Die Versuche, welche Langendorff mit dem auf diese Art isolirten und künstlich gespeisten Herzen anstellte, waren sehr verschiedenartig. Die Methode machte es möglich, die Herztöne deutlich zu auscultiren, die Wirkung der Vagusreizung auf die Herzthätigkeit genau zu studiren, verschiedene Gifte auf ihre Wirksamkeit der Herzthätigkeit gegenüber zu prüfen.

In seiner Arbeit theilt Langendorff diesbezügliche Beobachtungen mit, daneben auch Ergebnisse, welche er bei Versuchen erreicht hatte, um den Einfluss electri-

scher Reize und verschiedener Bluttemperaturen auf die Herzthätigkeit festzustellen. Die Ergebnisse dieser Versuche zeigten, dass diese Methode durchaus geeignet ist, über eine Reihe von wichtigen Fragen der Herzphysiologie Aufschluss zu geben. Hier sind vor allem diejenigen Beobachtungen von Interesse, die sich auf den Einfluss der Bluttemperatur auf die Thätigkeit des isolirten Säugethierherzens beziehen.

Es bestätigte sich vor allem die Beobachtung, die schon am Froschherzen gemacht wurde, dass das von warmem Blut durchströmte Herz schneller schlägt als das mit kaltem gespeiste. Ein auf 40° C. erwärmtes Herz schlug z. B. 4mal so schnell, wie ein auf 15° C. abgekühltes.

Ein weiteres Beispiel zeigt, dass bei einer Temperatur von 20—21° C. 5 Systolen in 4 Secunden erfolgten, bei 25° C. in 3 Secunden, bei 34,8° C. in weniger als 2 Secunden. Sinkt die Temperatur der Speisungsflüssigkeit unter 20° C., so wird die Frequenz des Herzens sehr gering und so unregelmässig, dass eine Zählung der Herzschläge unmöglich werden kann. Die Einzelcontraction verläuft dann sehr langsam; die Dauer derselben kann bei noch niedrigeren Temperaturen 5 Secunden und mehr betragen, die Herzpause 20 Secunden und länger dauern. Doch wurden noch bei einer Temperatur von 8,8° C. deutliche Contractionen beobachtet.

Bei stärkerer Abkühlung zeigte das Herz eine Neigung zu tetanoiden Contractionen.

II. Methodik der eigenen Versuche.

Die von mir angewandte Untersuchungsmethode war im Wesentlichen dieselbe, die Prof. Langendorff benutzt hatte. Es waren aber einige Veränderungen angebracht, welche die Exactheit der Methode förderten, ohne das Princip derselben irgendwie anzugreifen. Des Zusammenhangs wegen will ich in Kurzem die ganze Methode schildern, und an den betreffenden Stellen, wo Veränderungen getroffen waren, letztere hervorheben und genauer besprechen.

Als Druckgefäss diente mir eine grosse Luftflasche, deren mit einem Stopfen geschlossene Oeffnung zwei Glasröhren passirten. Die eine derselben reichte mit ihrem einen Ende bis an den Boden der Flasche und stand durch Vermittelung einer Bleiröhre mit der Wasserleitung in Verbindung, die andere trug einen Schlauch, welcher zum Blutrecipienten führte. Ein Seitenast der letzteren war durch einen Schlauch mit einem Quecksilbermanometer verbunden, welches die Höhe des Druckes regulirte. Dieses war so eingerichtet, dass in dem einen Schenkel ein Platindraht eingeschmolzen war, der mit der Quecksilbersäule beständig in Berührung stand, während in den anderen Schenkel ein einstellbarer Platindraht hineinragte. Die beiden Platindrähte waren als Nebenschluss mit einem Telegraphenrelais verbunden, mit deren Polklemmen eine Kette von 2 Elementen in Verbindung stand. Die Wirkung der Kette äusserte sich so, dass, wenn die Quecksilbersäule des Manometers den Platindraht berührte, der Relais-Strom durch das Manometer ging;

sank aber der Druck in der Flasche und somit auch die Quecksilbersäule, so ging der Strom durch die Drahtwindung des Relaiselectromagneten, welcher einen starken Batteriestrom schloss; in diesen war ein mit einem Electromagneten in Verbindung stehender Hahn eingeschaltet, welcher den Zufluss des Wassers regulirte. Beim Schluss des Batteriestromes öffnete sich der Hahn und es strömte so viel Wasser dem Druckgefäss zu, bis der Druck in dem Druckgefäss so weit gestiegen war, dass die Quecksilberkuppe des Manometers den Platindraht berührte. Das Relais wurde dadurch stromlos, der Batterie-Stromkreis in Folge dessen geöffnet und der Hahn durch eine Feder geschlossen. Ich war somit im Stande, über einen constanten Druck zu verfügen, welcher durch die Einstellung des verstellbaren Platindrahts vor jedem Versuche bestimmt wurde.

Als Blutrecipienten verwandte ich eine Wulff'sche Flasche mit zwei Hals- und einer seitlichen Bodentubulatur. Diese Flasche schwebte, durch ein Stativ gehalten, in einer mit Wasser gefüllten Wanne, welche durch Bunsenflammen, die von einem Gasregulator geregelt wurden, geheizt werden konnte. Die von Prof. Langendorff benutzten doppelten Blutrecipienten bezweckten schnellen Wechsel verschieden temperirter Flüssigkeiten; ich konnte mich mit einer Blutflasche begnügen, da continuirliche Reihen gezeichnet werden sollten. In den späteren Versuchen jedoch bin ich zu dem Doppel-Flaschensystem zurückgekehrt, weil es sich als zweckmässig erwies die eine Flasche zu füllen, während die andere sich entleerte. Die bequeme und schnelle Füllung

derselben erleichterte mir ein an der einen Halstubulatur befestigter Geissler'scher Luftpumpen-Hahn, welcher mit dem Druckgefäss durch einen Schlauch in Verbindung stand. Ich konnte nämlich durch entsprechende Stellung des Hahns das Innere der Wulff'schen Flasche bald mit dem Druckgefäss, bald mit der äusseren Luft in Verbindung setzen, bald auch das Druckgefäss mit der äusseren Luft verbinden. In der anderen Halstubulatur war ein bis zum Boden des Blutrecipienten reichender mit einem Hahn versehener Fülltrichter befestigt. Letzterer war mit einem feinen Rosshaar-Filter versehen, welches sich zur Zurückhaltung kleinerer Blutgerinnsel u. s. w. sehr bewährt hat. Als Fortsetzung der Bodentubulatur war an dem Hahn derselben ein Gummischlauch angebracht, welcher zu einer seitlichen Oeffnung einer kreuzförmigen Glasröhre führte; letztere vertrat die von Prof. Langendorff beschriebene Injectionscanüle. In ihre der Mündung des vom Recipienten führenden Schlauches entgegengesetzte Oeffnung war luftdicht ein Thermometer eingefügt, dessen Quecksilbergefäss in der Mitte der Glasröhre sich befand und von dem zufliessenden Blute bespült wurde. Die obere Oeffnung des senkrecht auf den beiden seitlichen Röhrenschenkeln der kreuzförmigen Glasröhre stehenden Schenkels konnte durch einen conischen Stöpsel geschlossen werden. Dieser Schenkel vermittelte den Austritt der Luft aus der Herzcanüle und erleichterte auch, falls es nöthig wurde, grössere Massen von Blut durch die Injectionscanüle durchzuleiten, das schnellere Durchfliessen desselben. Diese Nothwendigkeit trat ein beim Wechsel der Temperatur des

Blutes, um das in dem Schlauch gebliebene, noch nicht entsprechend temperirte Blut abfliessen zu lassen. Die untere Oeffnung des nach unten sehenden Röhrenschenkels war mit einem Metallcylinder versehen. Derselbe besass eine von innen nach aussen sich erweiternde conische Oeffnung, während sein äusserer Umfang ein Gewinde trug. In der conischen Oeffnung befand sich ein durchlöcherter conischer Gummistöpsel; derselbe konnte durch eine auf das Gewinde passende Mutter zusammengedrückt werden. In die Durchbohrung des Stöpsels wurde die Aorta-Canüle befestigt und durch Anschrauben der Mutter und dadurch erzeugte Compression des Stöpsels luftdicht mit dem kreuzförmigen Füllungsrohre verbunden.

Als Herzkammer, welche der bequemeren Handhabung wegen ausserhalb der Wanne sich befand, diente ein doppelwandiges Glasgefäss, welches an einem Stativ befestigt und je nach Bedarf an demselben entweder hoch oder niedrig gestellt werden konnte. Der Raum zwischen den beiden Wänden, von denen die äussere nach unten abgeschlossen war, wurde entweder mit warmem Wasser oder Eis gefüllt, wodurch die Temperaturwirkung des durch das Herz fliessenden Blutes unterstützt wurde.

Das Herz hing an der Canüle, welche in der aufsteigenden Aorta befestigt war, in dem Innern des Glasgefässes, das nach unten in eine kleine Oeffnung ausging; durch letztere tröpfelte das vom Herzen verbrauchte Blut in eine Schale ab. Durch dieselbe Oeffnung ging auch ein Faden, welcher durch ein Häkchen mit der Spitze des Herzens in Verbindung war, über eine Rolle zur Aufnahmekapsel. Letztere bestand aus einem

Metallring, der mit zwei Membranen bekleidet war. Die vordere Membran war mit einer dünnen Metallplatte versehen, welche in ihrer Mitte einen kurzen mit Schraubengewinde versehenen Stift trug; auf dieses Gewinde passte eine Schraubenmutter mit seitlicher und centraler Durchbohrung, durch welche der vom Herzen kommende Faden hindurchgeleitet und durch Anschrauben der kleinen Mutter fixirt werden konnte. Auf die hintere central durchbohrte Membran war eine ebenfalls durchbohrte Metallplatte aufgeklebt und an die eine Seite eines dreiseitigen durchbohrten Metallprismas angelötet. Am anderen Ende des Metallprismas befand sich eine Mikrometerschraube. Auf die Metallplatte der hinteren Membran war peripher ein kurzes Messingrohr von solcher Weite angelötet, dass es über der metallenenen Hülse des Prismas bewegt werden konnte, ohne es zu berühren. Auf diesem kurzen Messingrohr bewegte sich ein zweites, welches mit drei seitlich hervorragenden Armen und einer Schraube zum Verstellen versehen war. In jedem dieser Arme war ein Gummifaden befestigt. Diese Gummifäden waren mit drei von der vorderen Metallplatte ausgehenden entsprechenden Armen aus Aluminium verbunden und dienten dazu, um nöthigenfalls die Spannung und Excursionsweite der doppelwandigen Kapsel zu verändern. Die Prismahülse war durch einen Messingarm mit einem vierkantigen Messingrohr verbunden, welches sich auf einem vierkantigen prismatischen Stabe verschieben und durch eine Schraube an einer gewünschten Stelle fixiren liess. Das vordere Ende des Stabes war seitlich durchbohrt.

In dieser Durchbohrung war die Führungsrolle so befestigt, dass sie nach allen Richtungen hin verstellt und fixirt werden konnte, wodurch es möglich wurde, den Faden genau centrisch die Kapsel angreifen zu lassen. Das hintere Ende des Stahlstabes war mit einem cylindrischen Fortsatze versehen und konnte mittels einer Muffe an einem Stativ hoch oder niedrig gestellt werden. Sollte der Faden gespannt werden, so wurde sein freies Ende angezogen und mittels der Schraubenmutter an der vorderen Membran befestigt. Eine grobe Einstellung des Aufnahme-Apparates erzielte ich dadurch, dass ich den ganzen Apparat auf der vierkantigen prismatichen Stange verschob und an der nöthigen Stelle vermittels der an der Hülse angebrachten Schraube fixirte. Eine feinere Einstellung des Aufnahme-Apparats konnte ich durch die am hinteren Ende des Prismas befindliche Mikrometerschraube verursachen. Dadurch, dass der ganze Apparat sich auf dem feststehenden vierkantigen prismatischen Stabe bewegte, war eine seitliche Dislocation des Fadens zur Kapsel ausgeschlossen. Um noch grössere Excursionen der Kapsel zu erzielen, brauchte ich nur die metallene Hülse, welche mit den drei Armen und Gummifäden versehen war, nach der Mikrometerschraube hin zu schieben und zu fixiren. Es wurden dadurch die Flächen der beiden Membranen concav und somit die Excursionsweite der Membranen beträchtlich vergrössert. Vom hinteren Ende des durchbohrten Prismas führte ein Schlauch zu einem Marey'schen Tambour, welcher die vom Herzen der Kapsel mitgetheilten Excursionen auf einer berussten Trommel eines Zimmermann'schen

Kymographions aufzeichnete. Die Geschwindigkeit der Bewegung der Trommel wurde vor jedem Versuche durch entsprechende Einstellung bestimmt und betrug bei den meisten Versuchen zwei Minuten für eine vollständige Umdrehung. Am Ende einer jeden Umdrehung wurde an dem behufs Bestimmung der Bluttemperatur in der kreuzförmigen Glasröhre befestigten Thermometer die Temperatur abgelesen. In einigen Versuchen wurden häufigere Temperatur-Ablesungen vorgenommen.

Um Demjenigen, der die Temperatur zu vermerken hatte, ein Zeichen zu geben, wann eine Umdrehung zu Ende war, war folgende Einrichtung getroffen. An der Axe der Kymographion-Trommel war ein vorspringender Daumen befestigt, welcher am Ende einer jeden Umdrehung der Trommel einen Contact eröffnete. In demselben Augenblicke wurde ein in dem Stromkreise dieses Contacts befindlicher Relaismarkirer stromlos, dessen Schreibhebel eine Marke auf der rotirenden Trommel aufzeichnete, während die an dem Schreibhebel befindliche Relaisvorrichtung ein electrisches Läutewerk für kurze Zeit in Thätigkeit setzte. Derjenige, welcher die Temperatur zu beobachten hatte, wurde durch das Läutewerk aufmerksam gemacht und konnte für die auf der Trommel bezeichnete Stelle der Curve die entsprechende Temperatur protocolliren. Ausser dem Blutthermometer wurde bei den späteren Versuchen noch ein Thermometer abgelesen, das durch einen der Vorhöfe in den linken oder rechten Ventrikel vorgeschoben worden war, und dessen Angaben somit der Temperatur des Herzmuskels genau entsprachen.

III. Anordnung und Ausführung der Versuche.

Die von mir verwandten Thiere waren neben einigen Kaninchen stets Katzen, und zwar wurden bei genügendem Material immer 2 Katzen genommen; von einer derselben entnahm ich das Blut, von der anderen das Blut und das Herz. Das Blut wurde in den ersten Versuchen rein, später immer gemischt zu gleichen Theilen mit 0,8 % Kochsalzlösung als Speisungsflüssigkeit gebraucht.

Das zum Entbluten bestimmte Thier wurde chloroformirt; nachdem seine Carotiden eröffnet waren, wurde das spontan ausfliessende Blut in einer Schale aufgefangen und behufs Defibrinirung geschlagen. Hierauf verfuhr ich ebenso mit dem zweiten Versuchsthier und fügte hier die Eröffnung des Thorax zu, um das Herz freizulegen. Nachdem das Pericard gespalten war, wurde um die Aorta eine Schlinge angelegt und mittelst derselben eine Canüle befestigt, welche in die ungefähr 2 cm oberhalb der Semilunarklappen angeschnittene Aorta eingesetzt war. Das Herz wurde mit 0,8 % Kochsalzlösung ausgespült, der Inhalt des Herzens durch leichten Druck auf dasselbe entleert und das Herz ausgeschnitten. Durch Füllung der Aorta-Canüle bis an den Rand mit Kochsalzlösung wurde dem Eintreten von Luftbläschen in die Gefässe des Herzens vorgebeugt. Das Herz wurde nun mit der Injectionsröhre in Verbindung gebracht und in seiner Spitze das oben erwähnte Häkchen befestigt. Das Glasgefäss,

in welchem das Herz hing, wurde oben mit einem Glimmerdeckel bedeckt, um das Herz vor Vertrocknung zu hüten. Die Regelung des Drucks auf 100—120 mm und die Füllung der Blutflasche mittels des Fülltrichters war schon vorher besorgt worden und zwar letzteres auf folgende Weise:

Der Fülltrichter wurde mit Blut gefüllt. Um das Blut in den Blutrecipienten hineinfliessen zu lassen, wurde der den Fülltrichter gegen den Blutrecipienten abschliessende Hahn geöffnet und zugleich der Geissler'sche Luftpumpen-Hahn so gedreht, dass der Blutrecipient mit der äusseren Luft in Verbindung gebracht wurde. Sowie das Blut in den Blutrecipienten hineingeflossen war, wurde der zum Fülltrichter führende Hahn geschlossen und der Geissler'sche Hahn so gedreht, dass der Blutrecipient mit der Druckflasche communicirte. Befand sich das Herz schon in Verbindung mit der Injectionsröhre, so wurde der Hahn, welcher den Blutrecipienten mit dem zur Injectionsröhre führenden Schlauche verbindet, geöffnet und Blut dem Herzen zugeleitet. Um etwaigen Luftbläschen den Austritt zu gestatten, war anfangs der obere senkrechte Röhrenschenkel der kreuzförmigen Injectionsröhre offen gelassen. Erst dann, wo man sicher war, dass Luftblasen weder im Herzen noch in der Injectionsröhre vorhanden waren, wurde der Stöpsel eingesetzt und die Durchblutung begonnen. Das Blut floss nun aus dem Recipienten durch den von ihm führenden Schlauch nach der Injectionsröhre und durch deren untere Oeffnung in die Herzcanüle. Die Gefässe des Herzens

füllten sich sofort mit Blut, und hatte man es von allen Schädlichkeiten frei gehalten, so fing es alsbald an zu schlagen, anfangs schwach, später stärker. Seine Contractionen wurden durch die Aufnahmekapsel dem Marey'schen Tambour vermittelt, dessen Schreibhebel dieselben auf der rotirenden Trommel in Gestalt von Curven aufzeichnete. Bei der ersten Umdrehung der Trommel vermerkte ein mit einer electrischen Secundenuhr verbundener Markirmagnet die Umdrehungsgeschwindigkeit der Trommel auf der berussten Tafel. Dies erleichterte später die Zählung der Frequenz der Herzschläge für eine bestimmte Zeit.

Soweit mir das Blutmaterial es ermöglichte, verband ich mit einem jeden Wechsel der Trommel eine neue Füllung des Blutrecipienten. War das Doppel-Flaschensystem in Anwendung, so wurde, während die eine der Speisung dienende Flasche sich entleerte, die andere Flasche mit Blut gefüllt.

Wogte das Herz, wie es besonders bei plötzlichem Wechsel der Temperatur vorkam, so brachte ich es durch Ersticken zur Ruhe, indem ich die Blutzufuhr für längere Zeit absperrte. Es gelang auf diese Weise in der Regel, das Herz zur normalen Thätigkeit zurückzuführen.

Meine Versuche waren theils Abkühlungs-, theils Erwärmungs-Versuche. Bei den letzteren wurde die Speisungsflüssigkeit in den Blutrecipienten dadurch erwärmt, dass die Wanne mit warmem oder heissem Wasser gefüllt wurde. Um die Wärme besser wirken zu lassen, wurde warmes Wasser zwischen die Wände

der doppelwandigen Herzkammer gebracht. War eine Abkühlung nöthig, so wurde die Wanne und ebenso die Herzkammer anfangs mit Leitungswasser gefüllt, späterhin mit Eis.

Bei meinen Versuchen habe ich mir zur Aufgabe gemacht: 1. zahlengemäss zu bestimmen den Einfluss der Temperatur auf die Frequenz und Höhe der Herzschläge, 2. festzustellen, welches die höchste und niedrigste Temperatur ist, bei der ein Säugethierherz noch schlägt.

Die ersten Versuche dienten hauptsächlich dem Zwecke, Reihen von Curven sowohl beim Erwärmen wie beim Abkühlen zu erhalten und zugleich die Widerstandsfähigkeit des isolirten Herzens beim öfteren Wechsel der Temperatur zu prüfen. Die Temperaturangaben beziehen sich auf das durch die Injectionsröhre in das Herz strömende Blut; sie wurden an dem Thermometer abgelesen, welches in dem einen Seitenschenkel der kreuzförmigen Röhre sich befand. Die Frequenz der Herzschläge wurde von 10 Secunden auf 1 Minute berechnet, während bei den niedrigen Temperaturen die Zahl der Herzschläge von 2 Minuten (d. h. während eines Trommelumganges) auf 1 Minute reducirt wurde. Letzteres gilt auch für die späteren Versuche, in denen die Temperaturgrenzen nach oben wie nach unten bestimmt wurden, und die Temperatur des Herzmuskels am Herzthermometer abgelesen ward. Die Höhe der Contractionen geben die dritten Zahlen in Millimetern an.

IV. Versuchsbeispiele.

Versuch I.

Katzenherz, gespeist mit reinem Blut.

Temperatur des Blutes.	Frequenz.	Höhe.
36,0	222	6 mm
32,0	216	6,5 „
29,0	156	9 „
26,0	132	9 „
21,8	108	6 „
20,0	66	5 „
18,7	48	5 „
17,4	36	5 „
15,8	42	
14,9	24	

Die Herzschläge sind zuletzt unregelmässig.

Versuch II.

Katzenherz. Als Speisungsflüssigkeit diente Katzenblut zu gleichen Theilen gemischt mit 0,8 % Kochsalzlösung.

Temperatur des Blutes.	Frequenz.	Höhe.
40,5	180	4 mm
41,4	216	3 „
	Kleine Durchströmungspause.	
38,0	180	4 mm
	Abkühlung.	
29,2	144	5 mm
26,5	108	6 „
24,8	72	6 „
23,5	66	6 „
21,9	54	6 „

Zuletzt wechselt sehr die Höhe der Contractionen, der Puls wird unregelmässig.

Versuch III.

Katzenherz, gespeist mit Blut, welches zu gleichen Theilen mit 0,8 % Kochsalzlösung gemischt ist.

Temperatur des Blutes.	Frequenz.	Höhe.
38,5	198	9 mm
38,2	204	7 „
26,8	144	12 „
22,0	72	12 „
17,9	42	10 „

Es tritt eine über 1 Minute dauernde Pause ein, darauf regelmässiges Pulsiren.

16,2	24	5 mm
15,7	24	2 „
15,2	12	

Die Pulse werden flacher und langsamer, zuletzt unregelmässig. Es tritt bei weiterem Abkühlen eine Pause zwischen 15° und 14,4° C. auf, welche über 2 Minuten dauert. Nach mehreren flachen Pulsen bleibt das Herz dauernd stehen. Die Abkühlung geht bis 9,7° C. vor. Keine Pulse.

Die Ernährungsflüssigkeit wird erwärmt; das Herz fängt an regelmässig zu schlagen.

32,4	144	6 mm
34,2	156	6 „
34,6	150	5 „
34,8	156	8 „
35,3	168	7 „
35,9	168	6 „

Stromgeschwindigkeit vergrössert.

36,6	198	7 mm

Abkühlen mit Eis.

21,8	90	10 mm
16,5	42	8 „
14,5	30	5 „

Bei 13,3° Beginn des Stillstandes. Abkühlung bis auf 12,4°. Stillstand dauert fort.

Erwärmen.

Bei 36,8° fängt das Herz an zu schlagen.

37,5	90	5 mm
38,6	126	4 „

Schnellere Durchströmung.

40,0	156	3 mm
41,2	168	3 „

Abkühlen mit Eis.

35,1	186	3 mm

Durchströmungsgeschwindigkeit verstärkt.

24,9	102	4 mm
20,8	36	5 „
18,4	30	6 „

Der Puls wird unregelmässig, ab und zu treten kleine Pausen auf.

17,4	23	6 mm
16,1	17	6 „
15,9	13	5 „
15,7	12	5 „
15,6	9	5 „
15,6	5	5 „
15,4	5	5 „
15,8	8	
11,3	5	

In den linken Ventrikel wird ein Thermometer eingeführt. Die Herztemperatur beträgt 15,5° C.,

während die Bluttemperatur 13,4° C. beträgt. Hier beginnt der Stillstand des Herzens und dauert fort bis zur Herausnahme des Thermometers. Das Herz schlägt hierauf noch 1 Minute aber sehr unregelmässig, und bleibt zuletzt dauernd stehen. Beim nochmaligen Erwärmen fängt das Herz an zu schlagen, aber der Puls ist sehr klein und sehr frequent. Die Atrien schlagen schneller als die Ventrikel.

Versuch IV.

Katzenherz, gespeist mit Katzenblut, welches zu gleichen Theilen mit 0,8 % Kochsalzlösung gemischt ist.

Erwärmungsversuch.

Temperatur des Blutes.	Frequenz.	Höhe.
33,0	96	11 mm
33,4	126	7 „
Durchströmung schneller.		
37,0	192	10 mm
39,0	162	3 „
Die Kapsel wird stärker gespannt.		
35,0	162	6 mm
39,8	150	6 „
43,8	174	6 „
46,8	198	4 „
42,2	168	3 „
Die Blutgeschwindigkeit wird erhöht; der Puls wird unregelmässig.		
40,8	132	4 mm
49,4	204	12 „

50,0	192	12 mm
51,0	204	10 „
52,0	156	8 „

Der Puls wird unregelmässig und klein. Bei 53° C. fängt das Herz an zu wogen, zuletzt bleibt es stehen. Die Temperatur, nach dem Stillstand im Herzen gemessen, beträgt 45° C.

Versuch V.

Kaninchenherz wird mit Katzenblut gespeist, welches zu gleichen Theilen mit 0,8 % Kochsalzlösung gemischt ist.

Erwärmungsversuch.

Das Herz schlägt anfangs langsam, später schneller. Bei weiterem Erwärmen tritt abwechselnd Wogen und rythmisches Schlagen ein. Nach 40,4° C. tritt Wogen ein; die Blutzufuhr wird abgesperrt. Nach längerer Pause fängt das Herz an zu schlagen. Bei 44° C. (im linken Ventrikel gemessen) schlägt das Herz regelmässig. Es kommen 240 Schläge auf die Minute. Bei 45,5° C. im Herzen hört das Herz auf zu schlagen.

Versuch VI.

Abkühlungsversuch. Katzenherz, gespeist mit reinem Katzenblut.

Die Temperatur wird im rechten Herzen gemessen.

Temperatur des Blutes.	Frequenz.	Höhe.
20,5	36	15 mm
20,2	12	9 „

Die Frequenz nimmt bei weiterer Abkühlung sehr ab. Zwischen 19,6° und 19° giebt es in 3 Minuten 8 Contractionen von 6 mm Höhe.

Bei 14,6° giebt es Contractionen von 4 mm Höhe. Bei 10,0° ist eine Contraction von 1 mm Höhe. Bei 7,6° sind deutliche Contractionen da, ungefähr 4 Contractionen in $1^1/_2$ Minute.

Bei weiterer Abkühlung bleibt das Herz stehen. Die Abkühlung geht bis 5,4° C. Das Blut wird erwärmt. Es erfolgen anfangs sehr schwache und unregelmässige Contractionen, welche erst bei 25° C. regelmässig werden. Es kommen 17 Contractionen auf 10 Secunden.

Versuch VII.

Abkühlungsversuch. Katzenherz, gespeist mit reinem Katzenblut. Thermometer befindet sich im linken Herzen.

Das Herz wogt im Anfang längere Zeit; durch Ersticken wird es zur Ruhe gebracht.

Temperatur des Herzens.	Frequenz.
23,8	72
20,6	
Der Puls ist unregelmässig.	
16,4	
Der Puls wird regelmässig.	
15,4	18
13,6	12

Zwischen 12,6° und 11,4° giebt es in 6 Minuten 12 Contractionen. Bei 11° macht das Herz die letzte Contraction. Hier beginnt der Stillstand. Bei weiterer Abkühlung bis auf 7,4° bleibt das Herz mechanischen Reizen gegenüber empfindlich. Das Herz wird erwärmt, fängt bei 13° an zu schlagen und macht bei 20,8° in einer Minute 30 regelmässige Contractionen.

Versuch VIII.

Abkühlungsversuch. Katzenherz, gespeist mit altem und frischem Katzenblut.

Zuerst tritt für längere Zeit Wogen auf. Später abwechselnd Wogen und Pulsiren. Zuletzt treten langsame aber deutliche Contractionen ein.

Temperatur des Herzens.	Frequenz. Es vergehen zwischen 2 Contractionen:
9,9	40 Secunden.
8,8	82 „
8,4	85 „
7,4	70 „
7,0	101 „

Bei 6,4° sind schwache aber deutliche Contractionen zu beobachten. Bei 6,2° erfolgt noch eine Contraction. Das Herz wird erwärmt, es wogt.

Die folgenden 3 Versuche hat mir Prof. Langendorff zur Verfügung gestellt.

Versuch IX.

Katzenherz, gespeist mit Katzenblut, das zu gleichen Theilen mit 0,8% Kochsalzlösung gemischt ist.

Abkühlungsversuch.

Temperatur des Herzens.	Frequenz.	Höhe.
39	282	
38	237	9 mm
37	210	10 „
36	195	10 „
35	171	10 „
34	153	11 „
33	138	11 „

32	127	12 mm
31	123	13 „
30	114	14 „
29	111	15 „
28	108	16 „
27	96	17 u. 18 mm

Die Höhe der Pulse ist nicht gleichmässig.

26	91	18 u. 19 mm
25	85	18 „ 20 „
24	84	18 „ 21 „
23	75	19 „ 22 „
22	60	20 mm
21	54	18 u. 20 mm
20	42	18 „ 19 „
19	36	17 „ 18 „
18	30	16 „ 17 „
16	25	16 mm
15	21	13 „
14	18	12 „

Bei 13° werden die Pulse unregelmässig.

Die weitere Abkühlung geht bis 7,6° C., wobei noch deutliche Contractionen wahrzunehmen sind. Ein späteres Erwärmen bringt das Herz zum regelmässigen Schlagen. Bei 22° C. macht das Herz in 10 Secunden 10 Schläge von 7 mm Höhe.

Versuch X.

Erwärmungsversuch.

Katzenherz, gespeist mit Katzenblut, gemischt zu gleichen Theilen mit 0,8 % Kochsalzlösung.

Temperatur im rechten Ventrikel abgelesen.

Temperatur des Herzens.	Frequenz.	Höhe.
41,85	240	10—15 mm

43,35	168	16 mm
44,35	192	18—19 mm
44,85	198	20 mm

Das Herz geht, nachdem es bei 44,85° längere Zeit geschlagen, allmälig unter Flimmern zu Grunde.

Versuch XI.

Erwärmungsversuch.

Katzenherz, gespeist mit Katzenblut, welches zu gleichen Theilen mit 0,8% Kochsalzlösung gemischt ist.

Thermometer im linken Ventrikel.

Temperatur im Herzen.	Frequenz.	Höhe.
44,6	294	20 mm
45,0	270	20 „
45,4	270	19 „
45.6	264	19 „
45,8	246	19 „

Pause. Es wird kühleres Blut durchgeleitet.

43,0		

Pause. Weiteres Erwärmen.

43,2	258	19 mm
44,2	300	18 „
44,8	282	17 „
45,2	270	17 „
45,4	270	17 „
45,6	270	16 „
45,8	270	16 „
46,0	312	15 „
46,3	312	14,5 „
46,5	300	13 „

V. Schlussfolgerungen.

Die Versuche, denen die im vorigen Abschnitt mitgetheilten Tabellen entnommen, und deren 25 von mir angestellt worden sind, lassen vor allem erkennen, dass die Methode, deren ich mich bedient habe, zur Lösung der von mir aufgeworfenen Fragen durchaus geeignet ist. Vor allem bewährte sich die Methode darin, dass ohne Schwierigkeit mehrstündige Versuche am isolirten Warmblüterherzen ausführbar waren. Waren die Herzen nicht allzu oft und allzu starken Temperaturschwankungen ausgesetzt worden, waren Erwärmung und Abkühlung in den Einzelexperimenten nicht excessiv gewesen, so arbeiteten sie auch nach 3- ja nach 4-stündiger Thätigkeit fast mit derselben Energie wie am Beginn des Versuchs.

In der Verdünnung des Blutes mit 0,8 % Kochsalzlösung (zu gleichen Theilen) war ein Mittel gegeben, die disponible Blutmenge auf das Doppelte zu vermehren, ohne dass dadurch irgendwie ein Nachtheil für die Ernährung des Herzens entstand. Durch die mikroskopische Untersuchung des so verdünnten Blutes, das schon längere Zeit zur Durchspülung gedient hatte, konnte ich nachweisen, dass eine Schrumpfung der rothen Blutkörperchen dabei nicht eintritt. Da ferner das so verdünnte Blut, zum Sedimentiren hingestellt, ein nur schwach gefärbtes Serum abschied, so dürfte der Schluss berechtigt sein, dass wir in der 0,8 % Na Cl-Lösung eine dem Katzenblut nahezu isotonische Flüssigkeit besitzen.

Wenn öfters die Geduld des Experimentators durch das namentlich im Anfange leicht auftretende Wogen

des isolirten Herzens auf die Probe gestellt wurde, so hing das mehr von der Individualität der verschiedenen Versuchsobjecte ab, als von der Methode selber. Die einen Herzen fingen gleich zu Anfang an regelmässig zu schlagen, während andere, mit derselben Sorgfalt präparirt und vor jeder Schädlichkeit bewahrt, von vornherein längere Zeit wogten. Es liess sich aber fast in allen Fällen, wo die nöthige Vorsicht angewandt war, das Wogen durch längere Absperrung des Blutzuflusses zum Stillstand bringen und ein regelmässiges Schlagen des Herzens erreichen. Von der Individualität der Versuchsobjecte hing auch sehr die Frequenz und Stärke der Herzschläge ab. Es waren Fälle da, wo die Herzen trotz öfteren Temperaturwechsels bis zuletzt regelmässig und stark schlugen, während andere sich von vornherein als schwach zeigten und demgemäss auch schwache Thätigkeit an den Tag legten. Daher waren auch die Resultate öfters verschieden, insofern als die einen Herzen schon sehr früh abstarben, während man bei anderen sehr hohe und sehr niedrige Temperaturen anwenden konnte, ohne ihre Lebensfähigkeit zu schädigen.

Was nun die specielleren Versuchsergebnisse anlangt, so liess sich eine Zunahme der Frequenz der Herzschläge beim Erwärmen und Abnahme derselben beim Abkühlen ausnahmslos constatiren. Nur bei ganz hohen Temperaturen, welche 40° C. überschritten, war die Steigerung der Schlagzahl unregelmässig; bald stieg sie bei einigen Graden über 40° C., um dann wiederum zu sinken, bald auch wuchs die

Frequenz erst bei ganz hohen Graden, nachdem sie schon bei niedrigeren entweder gar nicht gestiegen oder sogar gesunken war.

Eine Optimumtemperatur, wie sie Martin im Durchschnitt bei 41,5° C. angenommen, konnte mit Bestimmtheit nicht erwiesen werden, da, wie schon erwähnt, die verschiedene Individualität der Versuchsobjecte in Bezug auf die Frequenz und Stärke der Herzschläge wesentliche Unterschiede darbot, die es unmöglich machten, mit Sicherheit eine einheitliche Grenze zu bestimmen.

Die höchsten Frequenzen, die ich beobachtete, waren 300—312 Pulse per Minute; doch entsprachen diese Maxima keineswegs den höchsten angewandten Temperaturen.

Die niedrigsten Schlagzahlen betrugen, soweit die Pulse zu zählen waren, 4 Contractionen per 1½ Minute. Bei sehr niedrigen Temperaturen, wo sehr schwache und sehr seltene Contractionen erfolgten, wurde die Dauer der Pausen zwischen 2 einzelnen Contractionen berechnet; die längste, die ich beobachtete, betrug fast 2 Minuten.

Was die Höhe der Curven bei den verschiedenen Temperaturen anbetrifft, so konnte man bis zu einer gewissen, jedoch nicht überall streng übereinstimmenden Grenze eine Steigerung derselben mit der Abnahme der Temperatur beobachten. Wie die Versuche I, II, III, VI und IX zeigen, lag diese Grenze ungefähr bei 20° C., über welche hinaus die Höhe wiederum abzunehmen anfing.

Hierbei mag auch erwähnt werden, dass bei stärkerer Durchströmung der Speisungsflüssigkeit die Curven an Höhe zunehmen, wie man aus Versuch III und IV sehen kann. Anderseits sehen wir bei den Versuchen X und XI, bei denen ausschliesslich das Erwärmen angewandt wurde und nur zwecks Erholung des Herzens einmal etwas kühleres Blut zugelassen war, dass die Curven bei Temperaturen von mehreren Graden über 40° C. die Höhe von ungefähr 20 mm erreichen. Dass bei diesen Versuchen die Herzen bei so hohen Temperaturen so starke Pulse aufwiesen, mag theils daran liegen, dass es besonders kräftige und widerstandsfähige Herzen waren, theils aber auch damit im Zusammenhange sein, was Martin öfters beobachtet und betont hat, dass diejenigen Herzen, welche einer stärkeren Abkühlung von vornherein nicht ausgesetzt waren, viel länger und kräftiger zu schlagen pflegen, als solche, die vorher schon stark abgekühlt wurden. Ueber die Temperaturgrenzen, innerhalb deren das Herz überhaupt su schlagen vermag, kann ich aus meinen Versuchen Folgendes entnehmen:

Die untere Grenze liegt zweifellos in der Regel viel tiefer, als Martin auf Grund seiner Beobachtungen annahm.

Wie Versuch III zeigt, bewahrte das hierbei verwandte Katzenherz bei der ersten Abkühlung seine Lebensfähigkeit bei einer Temperatur des Blutes von 15,2° C. und blieb zwischen 15° C. und 14,4° C. stehen. Der zweite Stillstand trat ein bei 13,3° C.,

der dritte bei einer Bluttemperatur von 13,4° C., während die Temperatur im Herzen 15,5° C. betrug.

Ein anderes Katzenherz zeigte dagegen noch deutliche Contractionen bei 7,6° C., gemessen im rechten Herzen, wie Versuch VI beweist.

Ein drittes Herz zeigte nach Versuch VII noch bei 11° C. eine deutliche Contraction, nachdem es sich bei 13,6° C. in einer Minute noch 12mal regelmässig contrahirt hatte. Die Temperatur wurde im linken Herzen gemessen.

Die niedrigste Temperatur erreichte ich im Versuche VIII, wo bei einer Temperatur von 6,2° C. im Herzen das Herz noch einmal sich contrahirt hatte.

Bei dem Versuche IX machte das Herz bei 14° C. im Herzen in der Minute 18 regelmässige Contractionen von 12 mm Höhe. Hier ging die Abkühlung bis 7,6° C., wobei noch deutliche Contractionen wahrzunehmen waren. Ein späteres Erwärmen brachte das Herz zum regelmässigen Schlagen, und zwar kamen auf 10 Secunden 10 Contractionen von 7 mm Höhe.

Fast bei allen Abkühlungsversuchen konnte das Herz durch allmäliges Erwärmen wieder belebt werden; war es nicht zu lange in Anspruch genommen, so begann es nach einiger Zeit regelmässig zu schlagen.

Die oberen Temperaturgrenzen lagen sehr hoch. Ich habe für die höchsten Temperaturen 4 Versuche angeführt.

Beim Versuch IV betrug die Bluttemperatur, bei der das Herz zu schlagen aufhörte, 53° C., während die Herztemperatur nach dem Stillstand 45° C. betrug.

Bei dem Versuch V (am Kaninchenherzen) hatte das Herz 240 Schläge in der Minute gemacht bei einer Temperatur des Herzens von 44° C.; der Stillstand trat bei 45,5° C. ein.

Das Herz im Versuch X zeigte 198 Contractionen von 20 mm Höhe in einer Minute bei einer Temperatur von 44,85, worauf es stehen blieb.

Im Versuch XI bewahrte das Katzenherz seine regelmässige und kräftige Thätigkeit bis zu 46,5° C., im linken Herzen gemessen. Es waren 300 Schläge von 13 mm Höhe in einer Minute erfolgt.

Dies sind in Kurzem die von mir gewonnenen Resultate. Allgemeine Schlüsse daraus zu ziehen, muss ich mir vor der Hand versagen. Die Versuche sollen noch weiter fortgeführt und das Beobachtungsmaterial vermehrt werden; vielleicht sind dann Ableitungen von allgemeiner Gültigkeit möglich.

Berichtigung.

Seite 16 Z. 4 v. o. muss es statt $1^1/_2$ Stunde $^1/_2$ Stunde heissen.

Literatur-Verzeichniss:

1. Budge. Wagners Handwörterbuch der Physiologie. 1846. III. 1. S. 439.
2. Weber. Ebenda III. 2. S. 35.
3. Calliburces. Cl. Bernard. System nerveux. 1858. II. S. 396. Citirt nach Cyon (5).
4. Schelske. Ueber die Veränderungen der Erregbarkeit durch Wärme. Heidelberg 1860.
5. Cyon. Ueber den Einfluss der Temperatur-Veränderungen auf Zahl, Dauer und Stärke der Herzschläge. Ber. d. Kön. sächs. Ges. d. Wiss. 1866.
6. Luciani. Eine periodische Function des isolirten Froschherzens. Ber. d. Kön. sächs. Ges. d. Wiss. 1873. S. 72 und früher.
7. Kronecker. Das charakteristische Merkmal der Herzmuskelbewegung. C. Ludwig zum 25jährigen Jubiläum gewidmet. S. 195.
8. Kronecker. Du Bois Reymond's Archiv, 1878. S. 322.
9. Lépine et Tridon. Memoires de la Soc. de Biol. 1876. Mars p. 18 des Sep. Abdr. Citirt nach Hermanns Handbuch der Physiol. IV. 1. S. 373.
10. Gaule. Du Bois Reymond's Archiv 1878. S. 299.
11. Ludwig u. Schmidt. Das Verhalten der Gase, welche mit dem Blute durch den reizbaren Säugethiermuskel strömen. Sächs. Sitz.-Ber. 1868. S. 15.
12. H. Newell-Martin. A New Method of Studying the Mammalian Heart, 1881.

13. H. Newell-Martin. The Direct Influence of Gradual Variations of Temperature upon the Rate of Beat of the Dog's Heart. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 1883.

14. Studies from the Biological Laboratory of the John Hopkins University, Vol. IV, p. 275. 1890.

15. Physiological Papers by H. Newell-Martin. Baltimore 1895. VII. On the Temperature Limits of the Vitality of the Mammalian Heart.

16. Langendorff. Untersuchungen am überlebenden Säugethierherzen. Archiv für gesammte Physiologie. Band 61.

Zum Schluss möge es mir erlaubt sein, Herrn Prof. Langendorff für die Anregung zu den Versuchen, welche ich unter seiner Leitung angestellt habe, Worte des wärmsten Dankes auszusprechen.

Auch kann ich nicht unterlassen, Herrn Custos Westien für die bereitwillige Hülfeleistung bei der Anordnung von Versuchen aufs beste zu danken.